



RANCANGAN GEOMETRI *WEB* PILAR DAN *BARRIER* PILAR PADA METODE PENAMBANGAN DENGAN SISTEM AUGER

Tommy Trides¹, Muhammad Fitra¹, Desi Anggriani¹

¹Program Studi S1 Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman, Samarinda 75119, Indonesia
Jl. Sambaliung No. 9, Kampus Gunung Kelua, Samarinda

*Email: tommy_trides@yahoo.co.id

Abstrak

Metode penambangan dengan sistem auger merupakan sistem penambangan dengan menyisakan pilar batuan. Pilar batuan tersebut mengalami perubahan distribusi tegangan akibat pembebanan massa batuan di atasnya. Dalam penelitian ini, pilar batuan yang dimaksud adalah pilar batubara yang terdiri dari web pilar dan barrier pilar. Dengan rancangan geometri web pilar dan barrier pilar batubara yang tepat maka akan dihasilkan perolehan batubara yang optimal. Berbagai metode analisis pada saat ini telah dikembangkan untuk menganalisis kekuatan pilar batubara. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan rancang geometri web pilar dan barrier pilar yang optimal yakni dengan menggunakan metode tributary area yang dikembangkan oleh Ziph (2005). Rancangan geometri web pilar dan barrier pilar juga mempertimbangkan kemungkinan tinggi runtuhnya pada atap lubang bukaan dalam 1 panel berdasarkan Rock Mass Rating.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, nilai Rock Mass Rating pada lapisan overburden sebesar 33.84 (kondisi batuan buruk). Jumlah web pillar batubara yang optimum dengan lebar web pillar 1 meter dalam 1 panel yakni sebanyak 5 web pilar (faktor keamanan 1,34), sehingga lebar barrier pilar batubara yang optimum adalah 7.15 meter (faktor keamanan 1,2).

Kata Kunci : Sistem Auger, Metode Tributary Area, Web Pilar, Barrier Pilar, Faktor Keamanan

1. PENDAHULUAN

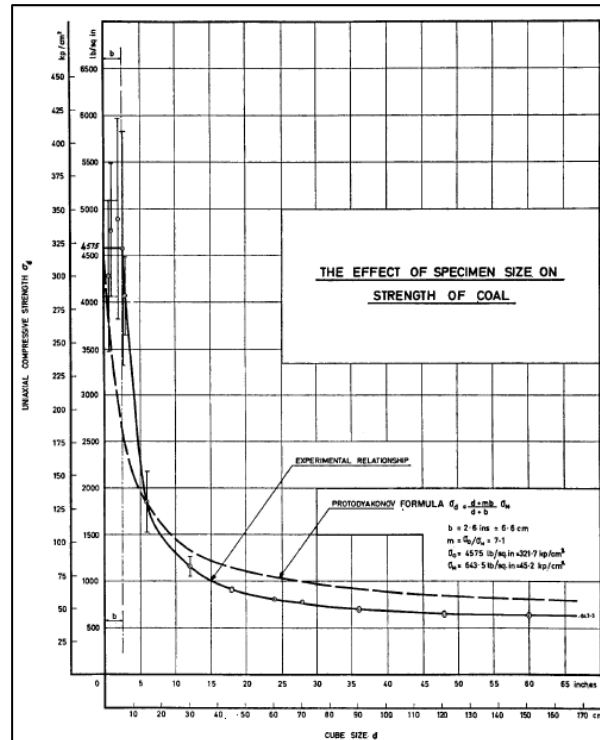
Metode penambangan dengan sistem auger membutuhkan desain rancangan *web pilar* dan *barrier pilar* batubara. Tommy dkk (2016) melakukan analisis *web pilar* batubara dan *barrier pilar* batubara dengan metode analitik, yakni dengan persamaan *kirsch* untuk mengetahui perubahan distribusi tegangan pada pilar batubara dan faktor keamanan pilar rata-rata. Penelitian tersebut menggunakan asumsi bahwa *web pilar* batubara dan *barrier pilar* batubara mengalami pembebanan dari *overburden* akibat gaya gravitasi dan dengan kondisi *hidrostatik*. Pada penelitian tersebut, masih belum terdapat jawaban mengenai lebar panel yang tepat agar desain yang telah dibuat optimal.

Dalam penelitian ini, peneliti mencoba untuk melakukan analisis rancangan geometri *web pilar* dan *barrier pilar* yang optimal dengan menggunakan persamaan analitik, yakni metode *tributary area* yang dikembangkan oleh Ziph (2005).

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Kekuatan Massa Batuan

Penelitian mengenai penentuan kekuatan massa batuan telah dilakukan kurang lebih hampir 50 tahun, Bieniawski (1967) melakukan penelitian mengenai pengaruh efek ukuran pada sejumlah sampel batubara berbentuk kubus untuk mengetahui kecenderungan kekuatan tekan *uniaksial* batubara dari ukuran 75 *inchi* hingga 60 *inchi*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar ukuran batubara yang berbentuk kubus, maka kekuatan tekan batubara akan semakin menurun hingga mencapai batas yang konstan (*asimptotik*) (Gambar 1).



Gambar 1. Efek ukuran terhadap kekuatan batubara (Bieniawski, 1967)

2.2 Kekuatan Pilar Batubara

Kekuatan pilar batubara sangat tergantung dari 3 faktor sebagai berikut : (1) efek ukuran atau *volume* (kekuatan akan semakin menurun dari ukuran spesimen kecil batubara hingga berukuran besar), (2) efek *geometri pilar* (*shape effect*), (3) sifat yang dimiliki material batubara tersebut. Untuk dapat memprediksi kekuatan pilar batubara tersebut, Bieniawski (1968) mengajukan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_p = S_I (0.64 + 0.36 \frac{w}{h}) \quad (1)$$

Keterangan :

w = lebar pilar (m)

h = tinggi pilar (m)

Menurut Bieniawski (1968), untuk menentukan kekuatan batubara insitu yang berbentuk kubus, dapat ditentukan sebagai berikut :

Apabila tinggi pilar batubara lebih daripada 36 *inchi* (0.9 meter)

$$S_I = k / (36)^{1/2} \quad (2)$$

Apabila tinggi pilar batubara kurang daripada 36 *inchi* (0.9 meter)

$$S_I = k / h^{1/2} \quad (3)$$

Untuk menentukan konstanta k , yakni sebagai berikut :

$$k = \sigma_c (D)^{1/2} \quad (4)$$

Keterangan :

σ_c = Kuat tekan *uniaksial* batubara (psi)
 D = Diameter atau dimensi sisi kubus (*inchi*)

2.3 Analisis dan Desain *Web Pilar* dan *Barrier Pilar*

Zipf (2005) mengajukan persamaan yang digunakan untuk menentukan faktor keamanan *web pilar* dan *barrier pilar* batubara. Dalam menentukan faktor keamanan *web pilar*, maka persamaannya menjadi sebagai berikut :

$$SF_{WP} = \frac{S_I [0.64 + 0.54 W_{WP} / H]}{[S_V (W_{WP} + W_E) / W_{WP}]} \quad (5)$$

Keterangan :

S_I = Kekuatan batubara insitu (MPa)
 S_V = Tegangan insitu vertikal (MPa)
 W_{WP} = Lebar *web pilar* (m)
 W_E = Lebar bukaan (m)
 H = Tinggi Penambangan (m)

Sedangkan dalam menentukan faktor keamanan *barrier pilar* sebagai berikut :

$$W_{PN} = N (W_{WP} + W_E) + W_E \quad (6)$$

Keterangan :

N = Jumlah *web pilar* dalam satu panel

$$SF_{BP} = \frac{S_I [0.64 + 0.54 W_{BP} / H]}{[S_V (W_{PN} + W_{BP}) / W_{BP}]} \quad (7)$$

Keterangan :

S_I = Kekuatan batubara insitu (MPa)
 S_V = Tegangan insitu vertikal (MPa)
 W_{PN} = Lebar panel (m)
 W_{BP} = Lebar *barrier pilar* (m)
 H = Tinggi penambangan (m)

2.4 *Rock Mass Rating*

Bieniawski (1973) mengusulkan sistem *Rock Mass Rating* (RMR) untuk mempermudah pemahaman bagi perekayasa dalam menilai kualitas massa batuan. Dalam RMR '79 terdapat 5 parameter yang diperlukan didalam penilaian klasifikasi massa batuan, yakni : kekuatan batuan utuh, *rock quality designation*, spasi kekar, kondisi diskontinuitas, dan kondisi air tanah. (Tabel 1). Pembobotan kondisi diskontinuitas yang lebih spesifik diusulkan oleh Bieniawski (1993) berdasarkan 5 parameter, yakni : panjang diskontinuitas, lebar bukaan, kekasaran, material pengisi bukaan dan pelapukan. (Tabel 2)

Tabel 1. Pembobotan RMR, Bieniawski (1973)

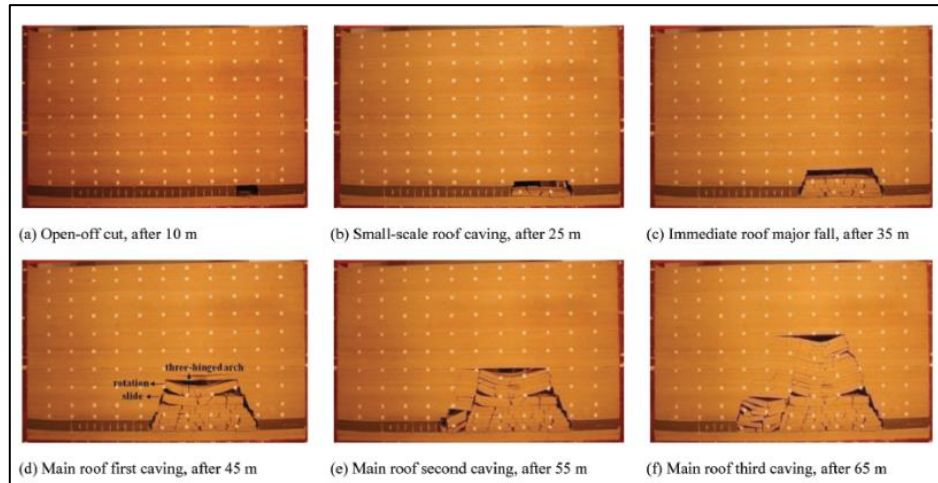
Parameter		Selang pembobotan					
	Kuat tekan	PLI (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Gunakan Nilai UCS
1	Batuan Utuh	UCS (MPa)	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25
	Bobot		15	12	7	4	2
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25
	Bobot		20	17	13	8	3
3	Jarak Kekar		>2m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6	0,006 - 0,2 m	<0,006 m
	Bobot		20	15	10	8	5
4	Kondisi Diskontinuitas		muka sangat kasar, tak menerus, tak terpisah, dinding tak lapuk	muka agak kasar pemisahan < 1mm, dinding agak lapuk	muka agak kasar pemisahan < 1mm, dinding sangat lapuk	muka slickensided gouge <5 mm, pemisahan 1 - 5 mm, menerus	gouge lunak > 5 mm, pemisahan > 5 mm, menerus
	Bobot		30	25	20	10	0
5	Kondisi Air Tanah	Aliran per 10 m panjang singkapan (Liter/menit)	Kosong	<10	10 - 25	25 - 125	>125
	Bobot		15	10	7	4	0
		Kondisi umum	Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir
	Bobot		15	10	7	4	0

Tabel 2. Klasifikasi kondisi diskontinuitas, Bieniawski (1993)

Panduan Klasifikasi Untuk Kondisi Diskontinuitas					
Panjang Diskontinuitas	<1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	>20 m
Bobot	6	4	2	1	0
Lebar bukaan	Tidak ada	<0,1 mm	0,1 - 1mm	1 - 5 mm	>5 mm
Bobot	6	5	4	1	0
Kekasaran	Sangat kasar	Kasar	Halus	Sangat halus	Gores garis
Bobot	6	5	3	1	0
Material pengisi bukaan	Tidak ada	Isian keras <5 mm	Isian keras >5 mm	Isian lunak <5 mm	Isian lunak >5 mm
Bobot	6	4	2	2	0
Pelapukan	Tidak lapuk	Sedikit lapuk	Lapuk sedang	Sangat Lapuk	Telah berubah
Bobot	6	5	3	1	0

2.5 Ketinggian Zona Rekahan

Dalam prediksi terbentuknya zona rekahan pada bagian atap lubang bukaan (*roof tunnel*). Song dan Yang (2015) mencoba mempelajari bentuk dari zona rekahan pada batuan strata, khususnya bagian atap lubang bukaan (*roof tunnel*) dengan model fisik di laboratorium. Dari hasil simulasi yang dilakukan di dalam laboratorium, terlihat bahwa zona rekahan pada atap lubang bukaan (*roof tunnel*) akan terbentuk semakin tinggi apabila lebar bukaan dalam satu panel semakin bertambah. (Gambar 2).



Gambar 2. Simulasi model fisik pengaruh lebar lubang bukaan. (Song dan Yang, 2015)

Estimasi dalam menentukan tinggi zona rekahan secara cepat dapat menggunakan parameter klasifikasi massa batuan yang diusulkan oleh Bieniawski (1976). Pada awalnya istilah dalam menentukan tinggi zona rekahan yang merupakan zona runtuh pada atap terowongan diusulkan oleh Terzaghi (1946) dan dimodifikasi oleh Unal (1983) dalam Chen (1994) dengan persamaan sebagai berikut :

$$H_t = (100 - RMR) \times (2W)/100 \quad (8)$$

Keterangan :

RMR = *Rock Mass Rating*

2W = Lebar penggalian / span (m)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kekuatan Tekan Insitu Batubara

Kuat tekan uniaksial batuan utuh berupa batubara berbentuk kubus diperoleh dari seam 20 dan di uji dilaboratorium dengan menggunakan alat uji kuat tekan. Pada seam 20 kuat tekan uniaksial batubara utuh berbentuk kubus rata-rata 5.02 MPa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bieniawski (1967) bahwa kuat tekan uniaksial batuan utuh berupa batubara berbentuk kubus belum merepresentasikan kekuatan sebenarnya dalam skala yang besar (insitu), sehingga harus mempertimbangkan *size effect* batubara. Berdasarkan *size effect* bahwa konstanta *k* seam 20 sebesar 1.28. Sehingga kekuatan tekan insitu batubara (S_I) berdasarkan *size effect* pada seam 20 sebesar 1.34 MPa. (Tabel 3 dan Tabel 4).

Tabel 3. Kuat Tekan Batuan Utuh Batubara

No	Sampel	F(kN)	Luas Penampang (A) (m ²)	Kuat Tekan Uniaksial (Mpa)	Kuat Tekan Uniaksial Rata-Rata (Mpa)
1	Seam 20_(1)	13.75	0.004225	3.254438	5.02
2	Seam 20_(2)	8.75	0.004489	1.949209	
3	Seam 20_(3)	28.75	0.003249	8.848877	
4	Seam 20_(4)	31.25	0.005184	6.028164	

Tabel 4. Kekuatan Tekan Insitu Batubara (S_i)

Sampel	Panjang Sisi Sampel		Kuat Tekan Uniaksial Rata-Rata (MPa)		Tinggi Pilar	k	Kekuatan Tekan Insitu Batubara (σ_{cube})	
	cm	Inchi	MPa	Psi			Psi	MPa
Seam 20	6.5	2.56	5.02	728.05	1.3	1.28	194.11	1.34

3.2 Rock Mass Rating

Analisis *Rock Mass Rating* pada *overburden seam 20* memperhatikan parameter kuat tekan uniaksial batuan utuh (*Intact Rock Strength*), *rock quality designation* (RQD), spasi diskontinuitas (*Spacing of Discontinuity*), kondisi diskontinuitas (*Discontinuity Condition*), dan kondisi air tanah (*Groundwater Condition*). Parameter-parameter tersebut dianalisa untuk mendapatkan nilai bobot masing-masing parameter dengan mengacu pada tabel *Rock Mass Rating*. Dari pembobotan masing-masing parameter dan total RMR seam 20 sebesar 33.84 (Kondisi batuan buruk).

Tabel 5. RMR *Overburden 1* Pit S17GS Seam 20

RMR Parameter	Nilai	Bobot	Keterangan
<i>Intact rock strength</i>	2.78 MPa	1	Uji Laboratorium
<i>Rock Quality Designation</i>		13.8	Intepretasi Log Bor
<i>Spacing of Discontinuity</i>		8.2	Intepretasi Log Bor
<i>Discontinuity condition</i>		10.8	Intepretasi Log Bor
<i>Groundwater condition</i>		0	Asumsi
Total		33.84	Kondisi Batuan Buruk

3.3 Prediksi Tinggi Runtuhan pada Panel

Prediksi tinggi runtuhan pada atap suatu terowongan akan berbanding lurus dengan lebar bukaan seperti yang diteliti oleh Song dan Yang (2015). Dalam hal ini persamaan yang digunakan untuk menentukan prediksi tinggi runtuhan yakni menggunakan persamaan 8. Dari hasil analisis pada seam 20 terlihat bahwa semakin lebar lubang bukaan maka tinggi runtuhan semakin besar yakni lebar panel 3.6 meter (1 panel, 1 web pilar) maka tinggi runtuhan 4.8 meter hingga lebar panel 24.3 meter (1 panel, 10 web pilar) maka tinggi runtuhan 32.2 meter.

Tabel 6. Tinggi Runtuhan Pada *Overburden Seam 20*

Wp (meter)	Ht (meter)	Keterangan
3.6	4.8	1 panel 1 web pilar
5.9	7.8	1 panel 2 web pilar
8.2	10.9	1 panel 3 web pilar
10.5	13.9	1 panel 4 web pilar
12.8	16.9	1 panel 5 web pilar
15.1	20.0	1 panel 6 web pilar
17.4	23.0	1 panel 7 web pilar
19.7	26.1	1 panel 8 web pilar
22	29.1	1 panel 9 web pilar
24.3	32.2	1 panel 10 web pilar

3.4 Simulasi Web Pilar dan Barrier Pilar Seam 20

Simulasi *web* pilar pada seam 20 diawali dengan tinggi runtuh 4.8 meter hingga tinggi runtuh 32.2 meter dalam 1 panel. Dengan asumsi bobot isi batuan rata-rata 0.027 MN/m^3 , maka simulasi dihitung dengan tinggi runtuh 4.8 meter (tegangan insitu vertikal 0.13 MPa) hingga tinggi runtuh 32.2 meter (tegangan insitu vertikal 0.87 MPa). Kekuatan tekan insitu batubara (S_1) berdasarkan *size effect* pada seam 20 sebesar 1.34 MPa , tinggi penambangan 1.3 meter , lebar lubang bukaan 1.3 meter , dan faktor keamanan acuan sebesar 1.2 . Dari hasil simulasi dengan lebar *web* pilar 1 meter , faktor keamanan yang mendekati 1.2 adalah faktor keamanan 1.34 . Dengan faktor keamanan 1.34 , maka 1 panel terdiri dari 5 *web* pilar. (Tabel 7)

Pada simulasi *barrier* pilar, ketebalan *overburden* sebesar 53.49 meter , bobot isi batuan rata-rata 0.027 MN/m^3 , kekuatan tekan insitu batubara (S_1) berdasarkan *size effect* pada seam 20 sebesar 1.34 MPa , maka dengan 1 panel yang terdiri dari 5 *web* pilar dengan faktor keamanan 1.2 , lebar *barrier* pilar sebesar 7.15 meter . (Tabel 8)

Tabel 7. Simulasi Lebar Web Pilar 1 meter Seam 20

Tinggi Runtuhan, H (m)	Tegangan Insitu Vertikal, S_v (MPa)	Kekuatan Tekan Insitu Batubara, S_1 (MPa)	Mining Height (m)	W_{wp} (m)	W_E (m)	Faktor Keamanan	Keterangan
4.8	0.13	1.34	1.30	1.00	1.30	4.78	1 panel 1 web pilar
7.8	0.21	1.34	1.30	1.00	1.30	2.92	1 panel 2 web pilar
10.9	0.29	1.34	1.30	1.00	1.30	2.10	1 panel 3 web pilar
13.9	0.38	1.34	1.30	1.00	1.30	1.64	1 panel 4 web pilar
16.9	0.46	1.34	1.30	1.00	1.30	1.34	1 panel 5 web pilar
20.0	0.54	1.34	1.30	1.00	1.30	1.14	1 panel 6 web pilar
23.0	0.62	1.34	1.30	1.00	1.30	0.99	1 panel 7 web pilar
26.1	0.70	1.34	1.30	1.00	1.30	0.87	1 panel 8 web pilar
29.1	0.79	1.34	1.30	1.00	1.30	0.78	1 panel 9 web pilar
32.2	0.87	1.34	1.30	1.00	1.30	0.71	1 panel 10 web pilar

Tabel 8. Simulasi Barrier Pilar dengan Lebar Web Pilar 1 meter Seam 20

Ketebalan Overburden, H (m)	Tegangan Insitu Vertikal, S_v (MPa)	Kekuatan Tekan Insitu Batubara, S_1 (MPa)	Mining Height (m)	W_{WP} (m)	W_{BP} (m)	W_E (m)	N	W_{PN} (m)	Faktor Keamanan	Keterangan
53.49	1.44	1.34	1.3	1.00	4.22	1.30	1	3.60	1.20	1 panel 1 web pilar
53.49	1.44	1.34	1.3	1.00	5.15	1.30	2	5.90	1.20	1 panel 2 web pilar
53.49	1.44	1.34	1.3	1.00	5.90	1.30	3	8.20	1.20	1 panel 3 web pilar
53.49	1.44	1.34	1.3	1.00	6.55	1.30	4	10.50	1.20	1 panel 4 web pilar
53.49	1.44	1.34	1.3	1.00	7.15	1.30	5	12.80	1.20	1 panel 5 web pilar
53.49	1.44	1.34	1.3	1.00	7.70	1.30	6	15.10	1.20	1 panel 6 web pilar
53.49	1.44	1.34	1.3	1.00	8.20	1.30	7	17.40	1.20	1 panel 7 web pilar
53.49	1.44	1.34	1.3	1.00	8.65	1.30	8	19.70	1.20	1 panel 8 web pilar
53.49	1.44	1.34	1.3	1.00	9.10	1.30	9	22.00	1.20	1 panel 9 web pilar
53.49	1.44	1.34	1.3	1.00	9.50	1.30	10	24.30	1.20	1 panel 10 web pilar

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi rancangan geometri *web* pilar dan *barrier* pilar batubara, maka dapat disimpulkan :

1. Rock mass rating pada seam 20 sebesar 33.84 (kondisi batuan buruk).
2. Jumlah *web* pilar batubara yang optimum pada seam 20 adalah 1 panel terdiri dari 5 *web* pilar dengan faktor keamanan 1.34.
3. Lebar *barrier* pilar batubara yang optimum pada seam 20 dalam 1 panel yang terdiri dari 5 *web* pilar sebesar 7.15 meter (faktor keamanan 1.2).

DAFTAR PUSTAKA

- Bieniawski, Z. T., 1967, *The Effect of Specimen Size o Compresive Strength of Coal*, National Mechanical Engineering Research Institute : Pretoria South Africa.
- Hoek, E. & E. T. Brown, 1980, *Underground Excavations In Rock*, The Institution Of Mining and Metalurgy : London
- Rai, M. A., Susesno K. dan Ridho K. W., 2014, *Mekanika Batuan*, Intitute Teknologi Bandung: Bandung
- Sasoka, T., dkk, 2015, *Geotechnical Issues on Application of Highwall Mining System in Indonesia*, ISRM : Vietnam.
- Hoek, E. & E. T. Brown, 1998, *Practical Estimates Of Rock Mass Strength*, Great Britain.
- Matsui, K. & Shimada, H., Kramadibrata, S & Rai, M.S., 2001, *Some Considerations of Highwall Mining Systems in Coal Mine*, International Mining Congress & Exhibition : Turkey.
- Iannachione, A.T. et al, 1992, *Proceedings of the workshop on coal pillar Mechanics and Design*, United States Department of the interior and Bureau of Mines, United States of America.
- Ziph, R.K., 2005, *Ground Control Design for Highwall Mining*, SME Annual Meeting.
- Song, G., Yang, S., 2015, Investigation into Strata Behaviour and Fractured Zone Height – Seam Longwall Coal Mine, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Volume 115, South Africa.
- Lukhele, M.J., 2012, Surface Auger Mining at Rietspuit Mine Services (Pty) Ltd, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, , South Africa.
- Chen, D., 1994, Design of Rockbolting System for Underground Excavations, Thesis Report, Department of Civil and Mining Engineering, University of Wollongong.
- Tommy .T., Hasrul., Nurfaizah,. R. 2016, Laporan Penelitian : Kajian Stabilitas Lereng Highwall dan Pilar Batubara dengan Metode Auger System, Universitas Mulawarman, Samarinda.